مقایسه اثر دوده‌سیلیس،زئولیت و سرباره کوره آهن گدازی بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم

منصور فخری[۱]، علی خلیلی‌فرد[۲]

۱- عضو هیات علمی دانشکده عمران،دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،تهران

۲- دانشجو مقطع کارشناسی ارشد،دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی،تهران

akhalilifard@yahoo.com

چکیده

امروزه دوام[1] بتن یکی از مهم‌ترین معیارهای پذیرش آن در پروژه های ملی بخصوص پروژه های زیربنایی کشور در حاشیه خلیج فارس است. از میان آزمایش‌های سنجش دوام بتن در آیین نامه های مختلف آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن[۲] سخت شده بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد. همچنین امروزه بدلیل مزایای متعدد و گسترش بتن خودتراکم (Self Compacting Concrete) در پروژه های ملی در تحقیق حاضر اثر دوده سیلیس(Silica Fume)،زئولیت(Zeolite) و سرباره کوره آهن گدازی(Slag) بر عمق نفوذ آب تحت فشار بتن خودتراکم مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه همزمان اثر سه ماده کمک سیمانی دوده سیلیس، زئولیت و سرباره که بیشترین مصرف در بتن‌هایی که ضوابط داومی دارند، بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم است. طراحی مخلوط های بتنی بر اساس ضوابط پیشنهادی موسسه EFNARC که یک تشکیلات اروپایی در زمینه استاندارسازی بتن در اروپاست انجام گردیده است. نتایج نشان داد که دوده سیلیس بیشترین تاثیر مثبت بر کاهش عمق نفوذ آب تحت فشار در نمونه های بتنی داشته است و این به معنای کاهش نفوذپذیری و دوام بیشتر این بتن نسبت به سایر طرح مخلوط های بتنی دیگر است.

کلمات کلیدی:بتن خودتراکم،عمق نفوذ آب تحت‌فشار،،دوده سیلیس،زئولیت،سرباره کوره آهن گدازی

1- Durability ۲-Depth of penetration of water under pressure

۱. مقدمه

مشاهده خرابی‌های زودرس در بتن هایی که در مناطق مهاجم و خورنده اجرا شده بودند و نیز دارای مقاومت فشاری مشخصه طراحی لازم بوده اند موجب گردید تا علاوه بر توجه به مشخصات مکانیکی بتن نظیر مقاومت فشاری،دوام بتن نیز به عنوان معیار اصلی و تعیین کننده در طرح و اجرای مخلوط های بتنی مورد توجه پژوهشگران و طراحان سازه های بتنی قرارگیرد. دوام بتن به معنای توانایی آن برای مقابله با عوامل جوی، حملات شیمیایی، سایش و فرسایش و هرگونه فرآیند که منجر به تخریب شود تعریف می‌گردد[۱]. بنابراین بتن بادوام یا پایا در شرایط محیطی مورد نظر می بایست شکل، حداقل کیفیت اولیه و قابلیت بهره برداری خود را حفظ کند[۲].

در میان آزمایش‌های مختلف مربوط به دوام بتن که اغلب میزان نفوذپذیری بتن را مورد سنجش قرار می‌دهند آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده[۳] مطابق با استاندارد اروپایی به شماره EN ۱۲۳۹۰-۸ از جمله آزمایش‌های متداولی است که در آیین نامه های بین اللملی و نیز در کشورمان همچون آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان وجود دارد و انجام آن در مناطق حاشیه خلیج و فارس و دریای عمان الزامی است[۴] و برای آن مقدار حداکثر مجازی بسته به شرایط محیطی مهاجم تعریف می‌شود.

در پژوهش حاضر با توجه به اهمیت دوام بتن در پروژه های ملی و نیز الزامی بودن انجام آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده در مناطق مهاجم اثر استفاده از دوده سیلیس،زئولیت و سرباره کوره آهن گذاری بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم بررسی و مقایسه شده است. تفاوت پژوهش حاضر با سایر پژوهش هایی که در این زمینه انجام شده است در همزمانی بررسی سه ماده کمک سیمانی در شرایط ساخت بتن خودتراکم است.

۲. روش تحقیق

در این پژوهش آزمایشگاهی کاربردی،تمامی طرح های مخلوط بتن خودتراکم ساخته شده الزامات مربوط به این نوع بتن را براساس ضوابط موسسه EFNARC [۵]رعایت می نمایند و نیز شایان ذکر است تمامی طرح های اختلاط در حالت کارآیی برابر(جریان اسلامپ ۷۲۰ – ۷۵۰ میلی متر) با یکدیگر مقایسه شده اند.از تمامی طرح های مخلوط دو آزمونه تحت آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در سن ۲۸ روزه قرار گرفته است.

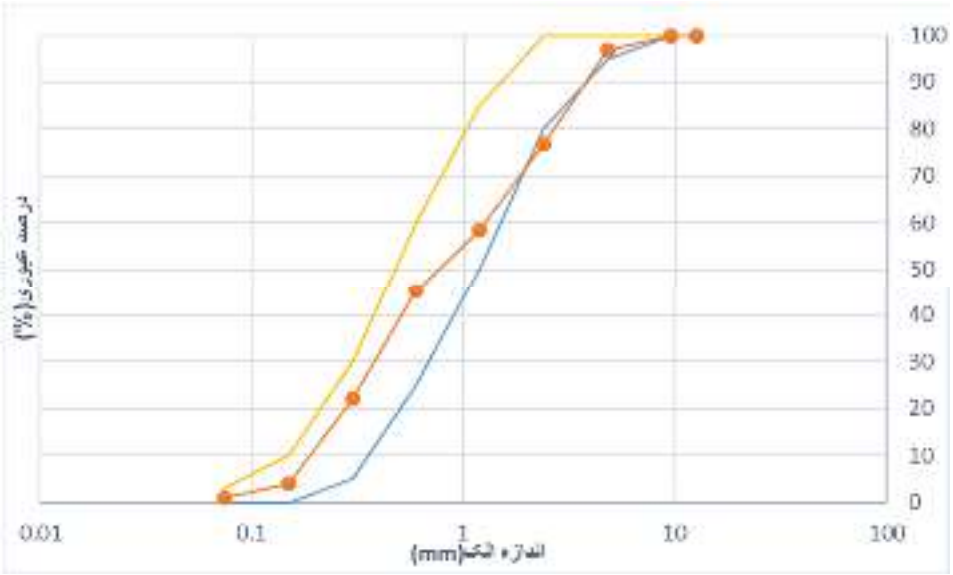
۳. مواد و مصالح بکار رفته

مصالح مورد استفاده در ساخت طرح های مخلوط بتن خودتراکم در پژوهش حاضر شامل سیمان،دوده سیلیس،زئولیت،سرباره کوره آهن گدازی،ماسه،شن،آب و فوق روانساز بتن بر پایه پلی کربوکسیلات اتر می باشد.سیمان مورد استفاده سیمان پرتلند تیپII بوده و مشخصات آن مطابق با استانداردهای ASTM C۱۵۰ و ISIRI۳۸۹ می‌باشد. مشخصات شیمیایی دوده سیلیس، سرباره و زئولیت مصرفی به ترتیب مطابق با استاندارد ASTM C۱۲۴۰ ، ASTM C۶۱۸ می‌باشد در جدول ۱ آنالیز شیمیایی سیمان و مواد کمک سیمانی حاضر در این پژوهش آمده است.

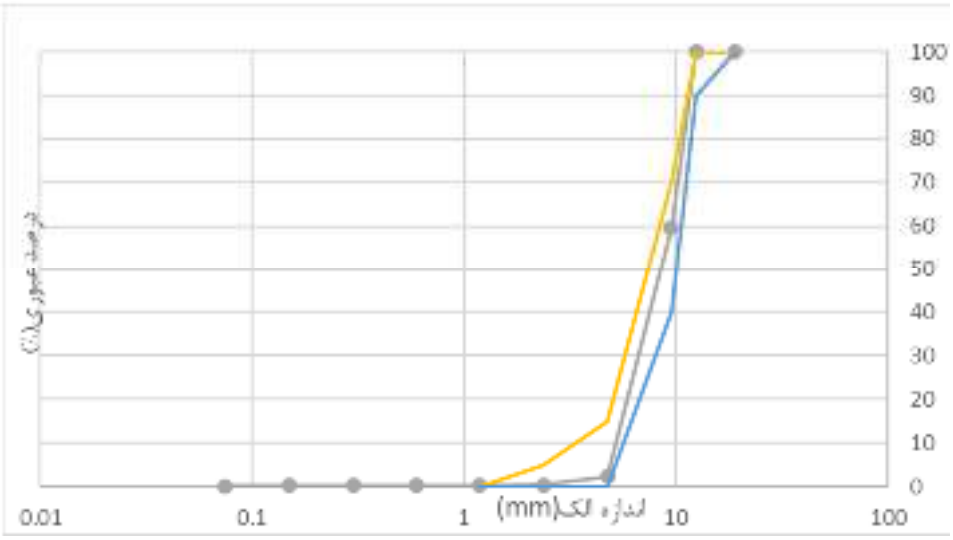
جدول ۱ –آنالیز شیمیایی سیمان و مواد کمک سیمانی

ترکیبات	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	SO_3	L.O.I	I.R
سیمان	۲۰,۵۶	۶۳,۵۸	۴,۷۳	۴,۱۵	۱,۱	۰,۳۲	۰,۶۲	۲,۴	۲,۱۶	۰,۴۲
دوده سیلیس	۸۶,۴۶	۰,۹۶	۰,۱۲	۴,۶۳	۱,۳۷	۱,۲۵	۰,۹۶	۰,۶۵	۳,۷	–
زئولیت	۶۹,۲۸	۳,۵۶	۱۰,۴۳	۰,۴۹	–	۱,۲۷	۰,۷۳	–	۲,۹۸	–
سرباره	۳۴,۳۱	۳۵,۳۹	۹,۵۵	–	۹,۸۹	۰,۵۳	۰,۵	–		–

سنگدانه های مصرفی اعم از شن و ماسه از معدنی در استان قم استفاده شده است.ماسه مصرفی از نوع رودخانه ای و شن ۱۰۰٪ شکسته می‌باشد.بر روی کلیه ی مصالح سنگی بکاررفته در این مطالعه آزمایش‌های دانه‌بندی، وزن مخصوص در حالت اشباع با سطح خشک(Saturation surface dry)، درصد جذب آب، درصدعبوری از الک شماره ۲۰۰ به ترتیب مطابق با استانداردهای ASTM C۱۳۶،ASTM C۱۲۷،ASTM C۱۲۸،ASTM C۱۱۷ انجام شده است در شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب منحنی دانه‌بندی ماسه و شن را مشاهده می‌کنید سپس نتایج دیگر آزمایشات سنگدانه‌ها در جدول ۲ آماده است.



شکل ۳ – منحنی دانه‌بندی ماسه



شکل ۴ – منحنی دانه‌بندی شن

جدول 2 – مشخصات سنگدانه های مصرفی

سنگدانه	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm۳)	وزن مخصوص فضایی (gr/cm۳)	وزن مخصوص اشباع با سطح خشک (gr/cm۳)	درصد جذب آب (٪)
ماسه	۲,۶	۲,۵	۲,۵	۲
شن	۲,۷	۲,۶	۲,۶۴	۱,۹

آب مصرفی آب شرب شهر ورامین بوده است و مقدار ph آن ۷,۹ می‌باشد. فوق روانساز مصرفی برپایه پلی کربوکسیلات اتر که مشخصات فنی آن مطابق با استاندارد ASTM C۴۹۴ Type S می‌باشد.

۴. طرح اختلاط بتن خودتراکم و ساخت نمونه ها

تاکنون هیچ روش استاندارد برای مخلوط های SCC ارائه نشده است و تقریبا تمام روش‌ها بر اساس آزمون و خطا می-باشد[۵].از میان روش های ارائه شده می‌توان روش های ریز را نام برد

۱-روش مستدل طرح مخلوط توسط Okamura و Ocvhi

۲-روش طرح مخلوط در مرجع EFNARC

۳-روش طرح مخلوط ساده توسط SU

۴-روش حداقل حجم خمیر سیمان توسط Montgomery و Bui

در پژوهش حاضر از روش طرح مخلوط در مرجع EFNARC استفاده شده است. از میان ۱۰ معیار پذیرش بتن خودتراکم در این روش مطابق با جدول شماره ۳[۶] آن ۵ مورد آن به شرحی که در جدول شماره ۴ آمده است در تمامی طرح های اختلاط آزمایشگاهی مورد سنجش قرار گرفت و نتایج تمامی آزمایشات در محدوده مجاز قرار دارد.

جدول ۴ – معیار های پذیرش بتن خودتراکم و محدوده ها

ردیف	آزمون	واحد سنجش	دامنه قابل قبول نتیجه آزمون		محدوده نتایج آزمایشگاهی	
			کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
۱	Slump Flow	mm	۶۵۰	۸۰۰	۷۲۰	۷۵۰
۲	T۵۰cm Slump Flow	sec	۲	۵	۲	۳,۵
۳	J-ring	mm	۰	۱۰	۶	۱۰
۴	V-funnel	sec	۶	۱۲	۶	۹
۵	L-box	(h۲/h۱)	۰,۸	۱	۰,۸۵	۰,۹۸

به منظور کنترل عدم هوازایی مواد کمک سیمانی در طرح های اختلاط،آزمایش درصد هوای بتن مطابق با استاندارد ASTM C۱۷۳ برای تمام طرح های اختلاط انجام پذیرفته و در تمامی طرح ها درصد هوای بتن کمتر از ۲درصد بوده است.

درصد جایگزینی مواد سیمانی با توجه به درصد های پیشنهادی در مراجع معتبر در جدول شماره ۵ آمده است.و در جدول شماره ۶ مقادیر طرح های اختلاط آزمایشگاهی آمده است.

جدول ۵ – درصدهای جایگزینی مواد کمک سیمانی

ردیف	ماده کمک سیمانی	درصد جایگزینی وزنی سیمان	مقدار در مترمکعب(Kg)
۱	دوده سیلیس	٪۴و ٪۷	۱۸ و ۳۱,۵
۲	زئولیت	٪۵ و ٪۱۰	۲۲,۵ و ۴۵
۳	سرباره کوره آهن گدازی	٪۳۵	۱۵۷,۵

جدول ۶ – مشخصات طرح های اختلاط بتن‌خودتراکم(Kg/m۳)

فوق روانساز	شن	ماسه	سرباره	زئولیت	دوده سیلیس	سیمان	W/C	مجموع مواد سیمانی	کد طرح	ردیف
۳,۴	۷۰۳	۱۰۱۵	-	-	-	۴۵۰	۰,۳۸	۴۵۰	C-M	۱
۴,۱	۷۱۱	۱۰۲۶	-	-	-	۴۳۰	۰,۳۸	۴۳۰	C-۴۳۰	۲
۴,۲	۷۲۶	۱۰۴۸	-	-	-	۴۱۰	۰,۳۸	۴۱۰	C-۴۱۰	۳
۴,۵	۷۰۴	۱۰۱۶	-	-	۱۸	۴۳۲	۰,۳۸	۴۵۰	S-F-۴	۴
۴,۵	۶۹۸	۱۰۰۷	-	-	۳۱,۵	۴۱۸,۵	۰,۳۸	۴۵۰	S-F-۷	۵
۴,۷	۷۰۶	۱۰۱۹		۲۲,۵	-	۴۲۷,۵	۰,۳۸	۴۵۰	Z-۵	۶
۵	۶۹۵	۱۰۰۳	-	۴۵	-	۴۰۵	۰,۳۸	۴۵۰	Z-۱۰	۷
۳,۱۵	۶۹۹	۱۰۰۹	۱۵۷,۵	-	-	۲۹۲,۵	۰,۳۸	۴۵۰	S-۳۵-۱	۸

۵. نتایج آزمایشات عمق نفوذ آب تحت فشار

۵-۱ آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن

در این آزمایش نمونه سخت شده بتن در سن ۲۸ روزه تحت فشار آب قرار می گیرد و در نهایت نمونه بتنی به دو نیم تقسیم شده و حداکثر عمق نفوذ آب در بتن سخت شده اندازگیری و گزارش شده‌است. آزمایش های عمق نفوذ مطابق با استاندارد EN ۱۲۳۹۰-۸ انجام شده‌است.. دو آزمونه در هر طرح اختلاط تحت آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار قرار گرفته است و میانگین دو مقدار در قسمت نتایج گزارش شده‌است. در شکل۵ نمایی از تجهیزات آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده را مشاهده می نمایید.

شکل ۵-دستگاه آزمایش عمق نفوذ آب تحت فشار

۲,۵.مقایسه نتایج عمق نفوذ آب تحت فشار در طرح های اختلاط

در پژوهش حاضر ۹ طرح اختلاط بتن خودتراکم ساخته شده است این طرح های اختلاط در ۴ دسته و با هدف های بررسی تغییرعیار سیمان،افزودن دوده سیلیس در دو درصد مختلف،افزودن زئولیت در دو درصد مختلف و در نهایت افزودن سرباره کوره اهن گـــدازی به

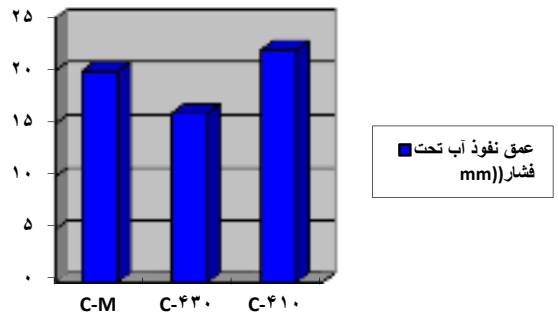
مخلوط شاهد و اثر آن بر روی عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن سخت شده عملیاتی شده است.در جدول ۷ نتایج آزمایشات عمق نفوذ طرح های اختلاط آمده است.

جدول۷-نتایج آزمایشات عمق نفوذ آب تحت فشار

ردیف	کد طرح اختلاط	عمق نفوذ آب (mm)	ردیف	کد طرح اختلاط	عمق نفوذ آب (mm)
۱	C-M	۲۰	۵	S-F-۷	۸
۲	C-۴۳۰	۱۶	۶	Z-۵	۱۸
۳	C-۴۱۰	۲۲	۷	Z-۱۰	۱۳
۴	S-F-۴	۱۶	۸	S-۳۵	۱۸

۳,۵.بررسی اثر تغییر عیار سیمان بر عمق نفوذ آب تحت فشار

بدین منظور ۳ طرح اختلاط با یکدیگر مقایسه می شوند طرح های شماره ۲،۱و۳ تنها در مقدار سیمان با یکدیگر متفاوت بوده و شامل مواد کمک سیمانی نمی باشند در نمودار ۱ عمق نفوذ این ۳ طرح آمده است.

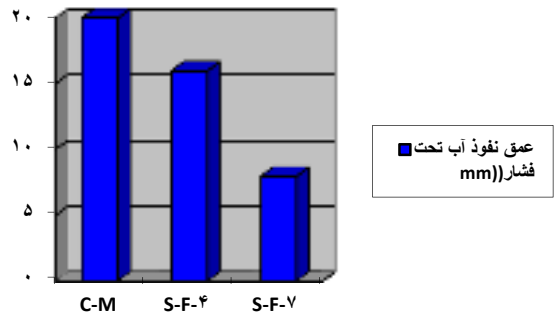


شکل ۶-اثر عیارسیمان بر عمق نفوذ آب تحت فشار

همان طور که در شکل ۶ قابل مشاهده است با کاهش عیار سیمان عمق از ۴۵۰ کیلوگرم درمتر مکعب به ۴۳۰ کیلوگرم در مترمکعب ۲۰ درصد عمق نفوذ آب تحت فشار کاهش یافته است. با کاهش عیار سیمان میزان سنگدانه ها در واحد بتن افزایش یافته و به دلیل پایین تر بودن ضریب نفوذپذیری سنگدانه از نفوذپذیری خمیر سیمان[۶] عمق نفوذ آب تحت فشار کاهش می یابد.همچنین کاهش عیار سیمان به ۴۱۰ کیلوگرم موجب افزایش ۱۰ درصدی عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن شده است.

۴,۵.بررسی اثر دوده سیلیس بر عمق نفوذ آب تحت فشار

بدین منظور طرح اختلاط های شماره ۴،۱و۵ با یکدیگر مقایسه می شوند.درشکل ۷ عمق نفوذ این ۳ طرح اختلاط آمده است.

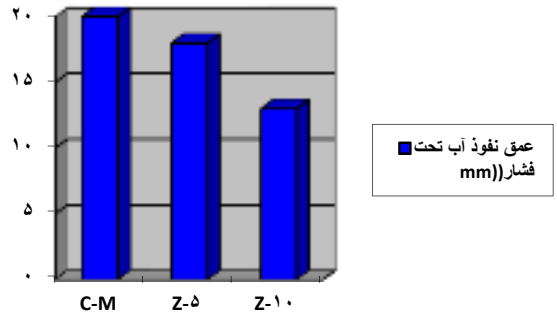


شکل ۷-اثر دوده سیلیس بر عمق نفوذ آب

دوده سیلیس موجب کاهش نفوذپذیری بتن می‌شود[۹-۸].همان طور که مشاهده می شود با افزایش میزان دوده سیلیس در طرح مخلوط عمق نفوذآب تحت فشار بشدت کاهش می یابد.با افزودن دوده سیلیس در درصد های ۴ و ۷ به ترتیب ۲۰ و ۶۰درصد عمق نفوذ کاهش یافته است.

۵,۵.بررسی اثر زئولیت بر عمق نفوذ آب تحت فشار

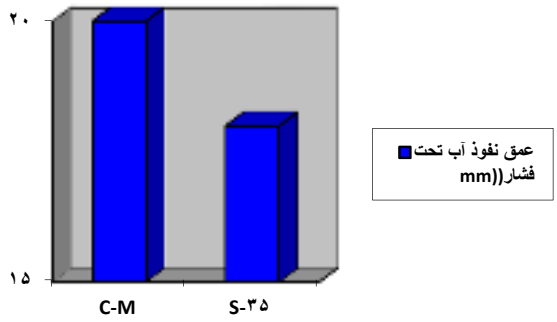
به منظور بررسی اثر زئولیت بر عمق نفوذ آب دو طرح اختلاط بتن در دو درصد مختلف جایگزینی ۵ و ۱۰ درصد وزنی مواد سیمانی عملیاتی شده است و در این میان طرح با جایگزینی ۱۰ درصد زئولیت ۳۵درصد عمق نفوذ آب تحت فشار را کاهش داده است.نتایج در شکل ۸ آمده است.



شکل ۸-اثر زئولیت بر عمق نفوذ آب

۵,۶.بررسی اثر سرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار

طرح شماره ۸ برای بررسی اثر سرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار عملیاتی شده است.افزودن ۳۵ درصد سرباره جایگزین سیمان در طرح مخلوط موجب کاهش ۱۰ درصدی عمق نفوذ آب تحت فشار می شود.شکل ۹ اثر سرباره در مقایسه با طرح شاهد را به نمایش می گذارد.



شکل ۹-اثرسرباره بر عمق نفوذ آب تحت فشار

۶. نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی همزمان اثر پوزولان‌های رایج مصرفی در کشور بر عمق نفوذ آب تحت فشار در بتن خودتراکم بوده است.در این میان دوده سیلیس در درصد جایگزینی مناسب(۷درصد) بیشترین (٪۶۵ کاهش) و سرباره با جایگزینی ۳۵

درصد کمترین کاهش(۱۰درصد) عمق نفوذ آب تحت فشار را از خود نشان می‌دهد.طرح های اختلاط مربوط به جایگزینی زئولیت نشان می دهد افزودن ۵درصد زئولیت اثر چندانی بر کاهش عمق نفوذ آب نداشته و در عوض جایگزینی ۱۰ درصدی این پوزولان کاهش چشمگیری را به دنبال خواهد داشت.کاهش میزان سیمان به جهت مزایای اقتصادی و زیست محیطی که همواره مورد توجه محقیق نیر می باشد تا مقدار بهینه ای موجب کاهش عمق نفوذ آب تحت فشار می گردد در پژوهش حاضر با کاهش عیار سیمان ۲۰درصد کاهش عمق نفوذ مشاهده شد اما با کاهش بیشتر ۱۰عیارسیمان عمق نفوذ آب تحت فشار افزایش ۱۰ درصدی پیدا کرد.

۷. قدردانی

بدین وسیله از شرکت دانش بنیان البرزشیمی آسیا بویژه مدیریت محترم آن جناب آقای مهندس آرش اویسی به پاس در اختیار قرار گذاشتن تجهیزات و امکانات آزمایشگاهی و نیز راهنمایی های فنی که ما را در انجام این پژوهش یاری نموده اند صمیمانه تشکر می نماییم.

۸. مراجع

[1] ACI Committee ۲۰۱. (۲۰۱۶). "Guide to Durable Concrete". American Concrete Institute.

[۲] رمضانیانپور،علی اکبر.،پورخورشیدی،علیرضا.،(۱۳۸۵)." آیین نامه ملی پایایی بتن در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان" . چاپ ۱ ، مرکز تحقیقات راه،مسکن و شهرسازی، تهران.

[۳]مبحث نهم مقررات ملی ساختمان: طرح واجرای ساختمان های بتن آرمه . (۱۳۹۲). دفتر مقررات ملی ساختمان[وزارت مسکن راه و شهرسازی].

EN ۱۲۳۹۰-۸:۲۰۰۹.[4] Testing hardened concrete. Depth of penetration of water under pressure, (2009)

[5] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, (2017). **E**uropean **F**ederation of **N**ational **A**ssociations **R**epresenting producers and applicators of specialist building products for **C**oncrete (EFNARC)

[۶] قدوسی، پرویز. (1385). " روش های طراحی نسبت های اختلاط در بتن خودتراکم" ، اولین کارگاه تخصصی بتن خودتراکم، تهران.

[7] Emilio, Luis., **Diaz Miron, Rendon.,** Dessi, a. (۲۰۱۷). "Concrete Durability" Springer International Publishing.

[۸] هلند، ترنس سی. "راهنمای مصرف میکروسیلیس در بتن"، ترجمه رمضانیانپور، علی اکبر.، اعرابی، نگین، (۱۳۹۱). انتشارات نگارنده دانش، تهران.

[۹] سبحانی، جعفر.، احمدی، بابک. (۱۳۹۳) " بهینه سازی طرح مخلوط بتنهای حاوی زئولیت طبیعی و روباره کوره آهنگدازی". ششمین کنفرانس ملی بتن، تهران.